

Vergleich des Abflussverhaltens auf planbefestigten Laufflächenbelägen in Rinderställen

Beat Steiner¹, Margret Keck¹, Markus Keller¹ und Katharina Weber²

¹Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen

²Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, 70593 Stuttgart

Auskünfte: Beat Steiner, E-Mail: beat.steiner@art.admin.ch, Tel. +41 52 368 31 31



Abb. 1 | Zur Minderung der Ammoniakemissionen ist ein rasches Ableiten des Harns erforderlich. (Foto: ART)

Einleitung

Die Oberflächen von Laufflächenbelägen wurden bisher unterschiedlich strukturiert und meist mit keinem oder nur geringem Gefälle ($\leq 1\%$) eingebaut. Demnach kann Harn von der Oberfläche nicht abfließen (Drainage). Verschmutzte Laufflächen stellen Flächenquellen für Ammoniakemissionen (NH_3) dar. Nach dem Harnvorgang steigt die NH_3 -Freisetzung auf Laufflächen zunächst stark an und flacht wieder ab. Die Harnstoffhydrolyse beginnt etwa 0,5 bis eine Stunde nach Kontakt des Harns mit den Exkrementen und ist meist nach wenigen Stunden abgeschlossen (Monteny 2000; Aarnink *et al.* 1992). Geschwindigkeit und Vollständigkeit des Harnstoffabbaus werden von der Höhe der Harnstoffkonzentration und der temperaturabhängigen Ureaseaktivität positiv beeinflusst. Neben emissionsoptimierten Oberflächen ermöglichen erst ein Gefälle und Sammelrinnen, dass

Harn von der Oberfläche rasch abgeleitet werden kann. Dadurch wird ein Effekt auf die NH_3 -Minderung erwartet. Monteny (2000) und Keck (1997) konnten in Modellrechnungen beziehungsweise in Untersuchungen im halbtechnischen Massstab einen grossen Einfluss von Harn auf den Laufflächen auf die NH_3 -Emissionen aufzeigen. Ein schnelles Ableiten von Harn ist demnach wichtig. Ein beidseitiges Quergefälle der Lauffläche von 3 % hatte einen stärkeren Einfluss auf die NH_3 -Emission (20–50 % Minderung) als ein erhöhtes Entmistungsintervall von zwölf auf 96 Vorgänge am Tag (5 % Minderung) (Braam *et al.* 1997). Auf Laufflächen ohne Gefälle resultiert bis zum nächsten Entmistungszeitpunkt stehende Nässe. Harn sollte deshalb auf dem kürzesten Weg von den Laufflächen mit einem Quergefälle zu einer Sammelrinne geführt werden. Dazu sind bessere Kenntnisse der Zusammenhänge von Oberflächengestaltung, Abflussverhalten durch Gefälle und Sammelkanäle sowie Verschmutzungsgrad erforderlich. Als baulich-technische Massnahmen stehen die Art der Oberflächenstruktur, der Einbau von Gefälle und kanalisiertes Ableiten der Flüssigkeiten im Vordergrund.

Ziel der Untersuchung war es, den Einfluss des Gefälles auf das Abflussverhalten von unterschiedlich gestalteten Laufflächenbelägen zu evaluieren. Nach der Erarbeitung einer geeigneten Messmethodik waren die Wirkung einzelner Parameter und deren Kombination zu quantifizieren.

Material und Methoden

Laufflächenbeläge mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen

Untersucht wurden sieben Laufflächenbeläge mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen: fünf Gummibeläge (Tab. 1) sowie je ein Belag aus Monobeton und Gussasphalt. Das Betonmuster entsprach der Klasse C 30/37, mit einer Körnung von 0–16 mm; in die Oberfläche waren 1,4 kg/m² Quarzsand A der Körnung 0,7–1,2 mm eingearbeitet. Beim Gussasphalt GA 8 SJ erfolgte die Oberflächenbearbeitung im Überschuss mit Mülliger-Rundsand der Körnung 0,8–1,8 mm. Die Gummimatten 1, 2, 4 und 5 hatten auf der Oberseite Grippprofile, mit einer klaren

Abgrenzung von erhöhten Bereichen und Zwischenräumen. Gummimatte 3 wies ein Hammerschlagprofil auf. Eine spezielle Versuchseinrichtung wurde im halbtechnischen Massstab aufgebaut (Abb. 1). In Neigungsrichtung hatten die verwendeten Laufflächenbeläge eine Länge von 160 cm, was etwa einer praxisüblichen Laufgangbreite bis zur mittigen Führungsrinne in Milchviehställen entspricht; die Breite betrug 120 cm. Die Neigung der Beläge wurde in sechs Stufen von 0–5 % variiert. Pro Gefällestufe erfolgten je drei Messungen in zwei entgegengesetzten Richtungen, um einen allfälligen Richtungseffekt mit zu erfassen. Damit lagen von jeder Gefällestufe sechs Einzelmessungen und für jedes Material insgesamt 36 Messungen vor. Die Messungen erfolgten auf vorbefeuchteten und mit Kot-Harn-Gemisch standardisiert verschmutzten Flächen. Dabei wurde Kot-Harn-Gemisch von Milchkühen auf den Laufflächenbelägen verteilt und mit einem Mistschieber abgeschoben. Der TS-Gehalt des Kot-Harn-Gemisches variierte zwischen den Versuchsdurchgängen von 10–12 %. Als Flüssigkeit wurde Wasser eingesetzt. Das applizierte Volumen entsprach mit zwei Litern einem durchschnittlichen Harnvorgang einer Kuh (Rutzmoser 2009). Die abfließende Masse der Flüssigkeit wurde gekoppelt mit der Zeitdauer seit Beginn des Harnvorgangs gravimetrisch erfasst (Abb. 2). Die Logger-Software (Dasy-Lab) steuerte dabei das Ventil und speicherte die Werte alle 0,5 s in einem ASCII-File ab.

Die Ausbreitungsfläche wurde mit einer Wärmebildkamera «Flir ThermaCam TM E4» erfasst. Dazu wurde das Wasser jeweils vor Beginn der Messung auf 30 °C erwärmt, um einen genügenden Kontrast zur Laufflächentemperatur von 18 °C zu erhalten. Ein ebenso erwärmter Stab wurde vor der Aufnahme auf die Fläche gelegt und diente als Referenzmass für die Umrechnung der Bildpunkte des Digitalbildes.

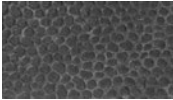
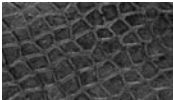

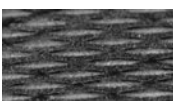

Neue Parameter zur Quantifizierung des Abflussverhaltens

Die Zeitdauer des gesamten Abflussvorgangs variierte stark, da häufig nach dem eigentlichen Abfluss noch kleinere Mengen nachtropften. Daher wurde der Parameter «Zeitdauer des Abflusses von 75 % der aufgebrauchten Masse (1500 g)» eingeführt. Um die potenziell weiter emittierende Harnmenge herzuleiten, wurde die «Masse der verbleibenden Flüssigkeit» errechnet. Zur Ermittlung der «Ausbreitungsfläche» diente die Software Adobe Photoshop 7.0. Von den sechs Einzelergebnissen pro Material und Gefällestufe wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen berechnet. Um die Richtungseffekte der einzelnen Laufflächenbeläge aufzuzeigen, wurden die Abweichungen zwischen beiden Richtungen dokumentiert. Die statistische Auswer-

Zusammenfassung

Verschmutzte Laufflächen in Rinderställen stellen Flächenquellen für Ammoniakemissionen dar. Zur Emissionsminderung wurde der Einfluss des Gefälles auf das Abflussverhalten von Wasser im halbtechnischen Massstab bei sieben unterschiedlichen Laufflächenbelägen quantifiziert. Die Beläge wurden mit einem Kot-Harn-Gemisch standardisiert verschmutzt. Als Messparameter dienten die Zeitdauer des Abflusses, die Masse sowie die Ausbreitungsfläche der zurückbleibenden Flüssigkeit. Bei allen Parametern ergaben sich zwischen den Gefällestufen bis zu 4 % signifikante Unterschiede. Der Rückgang von Abflusszeit und zurückbleibender Masse war vor allem bis zu einem Gefälle von 3 % erheblich. Eine weitere Erhöhung des Gefälles brachte nur noch geringe Veränderungen. Unter Berücksichtigung der baulichen Konsequenzen und allfälliger Auswirkungen auf das Laufverhalten erweist sich ein Gefälle von 3 % für planbefestigte Laufflächen als vorteilhaft.

Tab. 1 | Beschreibung der untersuchten Gummi-Laufflächenbeläge

Makroaufnahme der Oberfläche	Nummerierung und Beschreibung der Oberflächenstruktur der Laufflächenbeläge
	Gummimatte 1 Erhebungsflächen 6–10 mm Durchmesser, Zwischenräume 1–2 mm breit, ca. 1 mm tief
	Gummimatte 2 Erhebungsflächen 11–16 mm Kantenlänge, Zwischenräume 3 mm breit, ca. 1 mm tief, Gummioberfläche mit feinrauer Struktur
	Gummimatte 3 Hammerschlagprofil, Erhebungen beulenförmig, 12 mm Durchmesser, Übergang zwischen Erhöhungen und Vertiefungen fließend
	Gummimatte 4 Erhebungsflächen «Lines», symmetrisch angeordnet, 6 mm lang, 1 mm breit, Zwischenräume 3 mm breit, ca. 1 mm tief
	Gummimatte 5 Erhebungsflächen ellipsenförmig, symmetrisch angeordnet, 7 mm lang, 5 mm breit, Zwischenräume 2 mm breit, ca. 1 mm tief

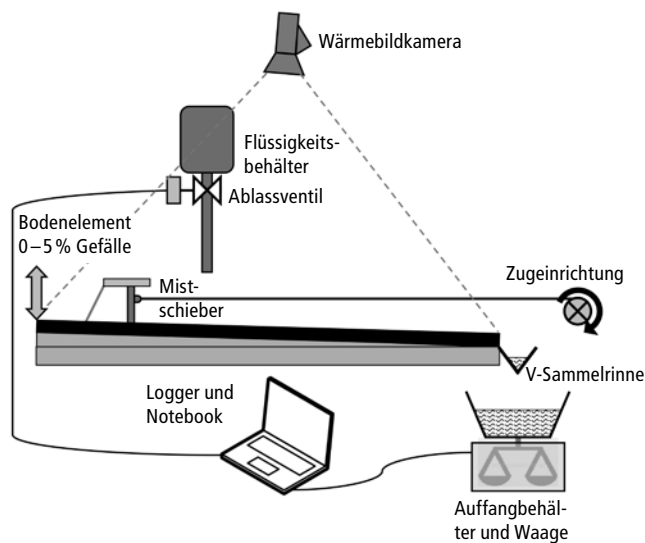


Abb. 2 | Schema der Versuchseinrichtung.

Die Messung erfolgte mit der Software S-Plus. Die Mittelwerte der Zeitdauer wurden mit einer Wurzelfunktion transformiert. Daraufhin erfolgte eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit 95 % Vertrauensintervall für spezifizierte lineare Kombinationen nach der Methode Bonferroni.

Resultate

Bis zu 3 % Gefälle reduziert die Abflusszeit und die zurückbleibende Masse

Die Abflusszeit und die zurückbleibende Masse nahmen bei allen Laufflächenbelägen bis zu 3 % Gefälle stark ab (Abb. 3 und 4). Der Rückgang zwischen 1 und 3 % betrug bei der Zeitdauer zwischen 67 und 77 %, bei der zurückbleibenden Masse zwischen 59 und 74 %. Bei 3 % Gefälle betrug die zurückbleibende Masse noch zwischen 209 g (bei Beton) und 119 g (bei Gummimatte 5). Diese Massen reduzierten sich bis zum maximalen Gefälle von 5 % noch auf 175 resp. 52 g. Eine noch tiefere Masse ergab sich bei Gussasphalt mit 35 g. Die Zeitdauer des Abflusses von 75 % der aufgetragenen Masse (2000 g) variierte im Mittel bei allen Laufflächenbelägen mit 1 % Gefälle zwischen 166 und 97 s; bei 5 % betrug sie noch zwischen 34 und 28 s. Die zurückbleibende Masse machte bei 1 % Gefälle zwischen 550 und 371 g, bei 5 % zwischen 175 und 35 g aus. Bei der Ausbreitungsfläche ergaben sich bei 1 % Gefälle Werte zwischen 18696 cm² und 13514 cm², bei 5 % zwischen 13628 und 8806 cm². Die höchsten zurückbleibenden Massen resultierten jeweils bei Beton. Die kürzesten Abflusszeiten wies Gummimatte 4 auf. Mit zunehmenden

dem Gefälle wurden die Unterschiede bei den Abflusszeiten und der zurückbleibenden Masse zwischen den einzelnen Gummimatten immer kleiner.

Im Unterschied zu den Parametern Zeitdauer des Abflusses und zurückbleibende Masse war bei der Ausbreitungsfläche (Abb. 5 und 6) der Vergleich mit 0 % Gefälle möglich. Hierbei ergab sich von 0 zu 3 % Gefälle ein Rückgang von 58 bis 79 %. Die Ausbreitungsfläche lag bei 0 % Gefälle zwischen 22285 und 16387 cm², bei 5 % zwischen 13628 und 8806 cm². Bei 3 % Gefälle wiesen Beton und Gummimatte 4 mit 13012 resp. 10629 cm² die geringsten Ausbreitungsflächen auf. Die grösste Abnahme der Ausbreitungsfläche aller Laufflächenbeläge ergab sich mit Ausnahme von Gummimatte 4 bei der Gefällestufe von 1 zu 2 %. Ab 2 % Gefälle nahm die Ausbreitungsfläche jedoch weiter kontinuierlich ab.

Die Standardabweichung der Abflusszeit betrug bei 1 % Gefälle durchschnittlich 17 s und bei der zurückbleibenden Masse 46 g. Ab 2 % Gefälle war die Standardabweichung bereits deutlich tiefer und lag bei 5 % noch bei 0,7 s resp. 17 g. Die Standardabweichung der Ausbreitungsfläche variierte innerhalb der einzelnen Laufflächenbeläge und der Gefällestufen wesentlich stärker als bei den anderen beiden Parametern. Die Varianzanalyse ergab bei allen Parametern zwischen den Gefällestufen bis und mit 4 % signifikante Unterschiede ($P < 0,05$). Für die zurückbleibende Masse war die Signifikanz auch bei der Stufe von 4 zu 5 % vorhanden. Sowohl bei den serienmässig hergestellten Gummimatten, als auch bei Beton und Gussasphalt ergaben sich keine eindeutigen Richtungseffekte.

Diskussion

Gefälle wirkt sich stärker aus als die Oberflächenstruktur

Bei den verwendeten Laufflächenbelägen wirkte sich das Gefälle wesentlich stärker auf das Abflussverhalten aus als die Oberflächenstruktur. Dennoch zeigten sich tendenziell Unterschiede zwischen den Belägen. Grobe, heterogene Oberflächenstrukturen ergaben bei wenig Gefälle längere Abflusszeiten und eine grössere zurückbleibende Masse als die feineren Strukturen bei Gummimatten. Bei den Ausbreitungsflächen lagen Beton und Gussasphalt auf ähnlichem Niveau wie die Gummibeläge. Die gewählte Sandkörnung an der Oberfläche hatte demnach eine ähnliche Wirkung auf die Ausbreitung der Flüssigkeit wie die Erhebungsflächen auf den Gummimatten. Die Ausbreitung der Flüssigkeit wurde somit von der Oberflächenstruktur nicht wesentlich beeinflusst. Die grössere Streuung beim Parameter Ausbreitungsfläche könnte neben methodischen Aspekten

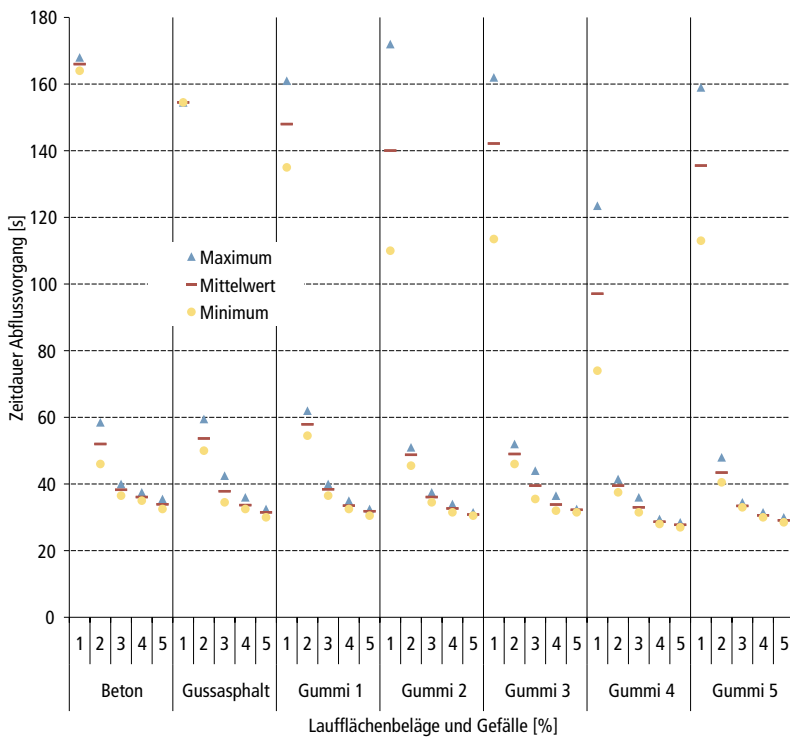


Abb. 3 | Zeitdauer des Abflussvorganges bei unterschiedlichen Laufflächenbelägen und Gefällestufen.

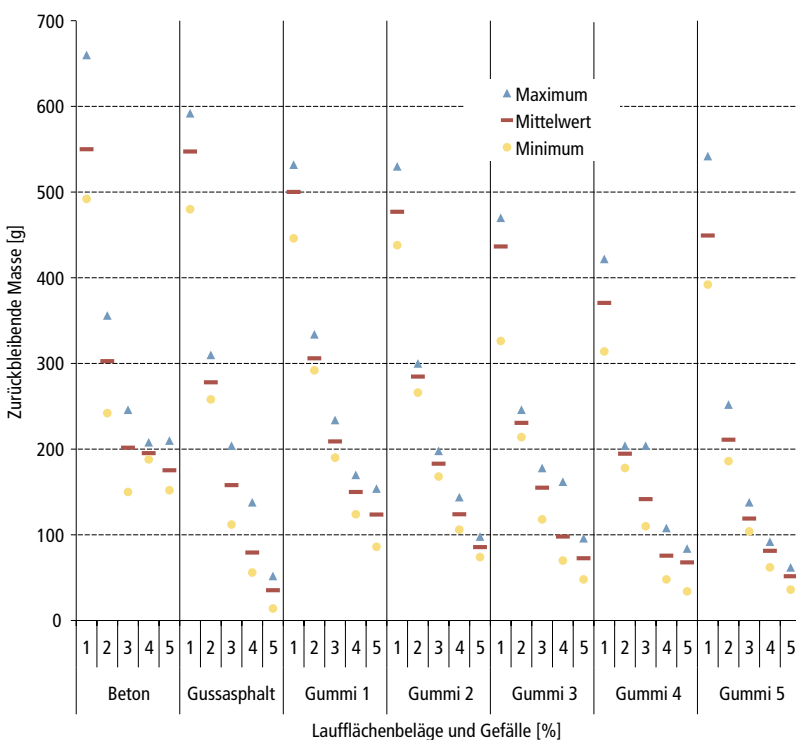


Abb. 4 | Zurückbleibende Masse bei unterschiedlichen Laufflächenbelägen und Gefällestufen.

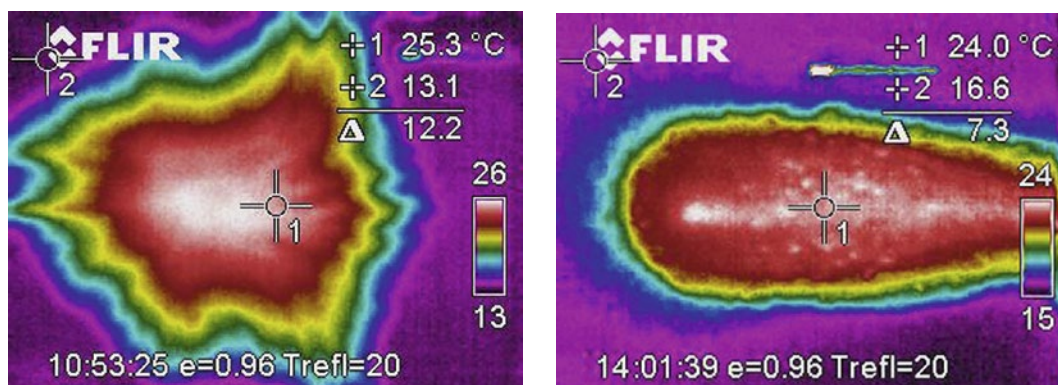


Abb. 5 und 6 | Ausbreitungsflächen auf einem Gummibelag bei 0 % (Abb. Links) und 3 % (Abb. rechts) Gefälle auf einem Gummibelag. (Fotos: ART)

auf die unterschiedliche Verdrängungswirkung des Kot-Harn-Gemisches gegenüber dem Wasser zurückgeführt werden. Werden die Ergebnisse von allen drei Messparametern berücksichtigt, erscheint Gummimatte 4 vorteilhaft, deren Erhebungsflächen feiner gestaltet und mit den Zwischenräumen symmetrisch angeordnet sind.

Struktur und Gefälle müssen demnach so ausgeführt sein, dass eine Drainagewirkung zustande kommt. Je schlechter die Drainierbarkeit einer Lauffläche ist, desto mehr emissionswirksames Volumen steht zur Verfügung. Vorteilhaft sind Oberflächen mit einem hohen Anteil an offenem Leervolumen (Steiner et al. 2010). Bis zu 3 % Gefälle resultierte insbesondere bei den Abflusszeiten und den zurückbleibenden Massen bei allen Laufflächenbelägen ein starker Rückgang.

Bei einem Gefälle von 3–5 % war die Standardabweichung bei den Abflusszeiten tief. Dies bestätigt, dass sich zunehmendes Gefälle auf den kontinuierlichen Abfluss auswirkt. Obwohl auch die Gefällestufe von 3 auf 4 % noch signifikante Unterschiede ergab, stellt sich die Frage, ob die quantitativen Differenzen im Hinblick auf die emissionsmindernde Wirkung noch relevant sind.

Im Hinblick auf eine geeignete Messmethodik zeigen die Untersuchungen, dass die Aufnahmetechnik mit Wärmebildkamera und Bildbearbeitung mit Photoshop 7.0 noch zu verbessern sind.

Zur Quantifizierung des Einflusses von Gefälle auf das Abflussverhalten von unterschiedlich gestalteten Laufflächen eignen sich gemäss den vorliegenden Ergebnissen alle drei Messparameter Abflusszeit, zurückbleibende Masse und Ausbreitungsfläche.

Kombination mit häufiger Reinigung – Synergien zum Tierwohl

Unter realen Praxisbedingungen ist davon auszugehen, dass Kot den Abfluss von Harn je nach Reinigungshäufigkeit und -effizienz noch stärker behindert als im vor-

liegenden Versuch. Dies würde für ein Gefälle von mehr als 3 % sprechen. Dagegen sind jedoch ein höherer baulicher Aufwand und offene Fragen bezüglich den Auswirkungen auf das Laufverhalten der Tiere anzuführen. Aus dieser Sicht ist bei der Ausführung von planbefestigten Laufflächen vorerst ein Quergefälle von rund 3 % zu empfehlen. In Kombination mit einer häufigen und effizienten Reinigung sind damit neben einer emissionsmindernden Wirkung auch positive Einflüsse auf Sauberkeit und Klauengesundheit der Tiere zu erwarten.

Schlussfolgerungen

Der Einfluss des Abflussverhaltens von unterschiedlich gestalteten Laufflächenbelägen in Rinderställen lässt sich mit den Parametern Abflusszeit, zurückbleibende Masse und Ausbreitungsfläche im halbtechnischen Massstab quantifizieren. Bis zu 3 % Gefälle resultierte insbesondere bei den Abflusszeiten und den zurückbleibenden Massen bei allen Laufflächenbelägen ein starker Rückgang. Die Ausbreitung der Flüssigkeit wurde von der Oberflächenstruktur der eingesetzten Materialien nicht wesentlich beeinflusst. Um eine emissionsmindernde Wirkung zu erzielen, sind Struktur und Gefälle von Laufflächen so auszuführen, dass eine Drainagewirkung zustande kommt. Unter Praxisbedingungen ist die Ergänzung mit funktionssicheren Harnsammelrinnen zwingend erforderlich. Ergänzt mit einer häufigen und effizienten Reinigung wirken diese Massnahmen zudem positiv auf die Klauengesundheit. ■

Riassunto**Confronto delle condizioni di deflusso sui rivestimenti delle superfici di camminamento nelle stalle per bovini**

Superfici di camminamento sporche rappresentano, nelle stalle per bovini, fonti di emissioni di ammoniaca. Per ridurre le emissioni è stato quantificato l'influsso della pendenza sulle condizioni di deflusso dell'acqua, su piccola scala, su sette diversi rivestimenti delle superfici di camminamento. I rivestimenti delle superfici sono stati sporcati in modo standardizzato con una miscela di escrementi e urina. Come parametri di misura sono serviti il periodo di deflusso, la massa e la superficie di diffusione del liquido rimanente. Delle differenze significative si sono evidenziate per tutti i parametri tra i livelli di pendenza fino al 4 %. La diminuzione del tempo di deflusso e della massa restante è risultata rilevante soprattutto fino a una pendenza del 3 %. Un ulteriore aumento del dislivello ha apportato solo cambiamenti irrilevanti. Un dislivello del 3 % si dimostra vantaggioso per le superfici di camminamento con rivestimento, in considerazione delle conseguenze edilizie ed eventuali ripercussioni sul comportamento della camminata.

Summary**Comparison of drainage characteristics of traffic floor surfaces in cattle-housing systems**

Soiled traffic floor surfaces in cattle-housing systems represent plane sources for ammonia emissions. For emission-reduction purposes, the influence of the gradient on the drainage behaviour of water was quantified on a pilot-plant scale for seven different traffic surfaces. The surfaces were uniformly soiled with a mixture of excrements and urine. Measuring parameters were the duration of drainage, mass and spread area of the residual liquid. For all parameters, there were significant differences between the gradient levels up to 4 %. The decrease in both drainage time and residual mass was considerable, especially up to a gradient of 3 %. A further increase in the gradient occasioned only slight changes. Bearing in mind the structural consequences and any possible effects on the cows' walking behaviour, a gradient of 3 % for traffic floor surfaces would appear to be advantageous.

Key words: floor surface, cattle housing, drainage, ammonia emission, gradient.

Literatur

- Aarnink A.J.A., van Ouwerkerk E.N.J. & Verstegen M.W.A., 1992. A mathematical model for estimating the amount and composition of pig slurry from fattening pigs. In: *Livestock Production Science* 31, 133–147.
- Braam C.R., Smits M.C.J., Gunnink G. & Swierstra D., 1997. Ammonia emission from a double-sloped floor in a cubicle house for dairy cows. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68, 375–386.
- Gooch C.A., 2000. Considerations in Flooring. Dairy Housing and Equipment Systems. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service NRAES-129, Cooperative Extension, Ithaca, New York, 278–291.
- Keck M., 1997. Ammonia Emission and Odour Thresholds of Cattle Houses with Exercise Yards. In: Voermans J.A.M. & Monteny G.J.. Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities. Proceedings of a International Symposium in Vinkeloord, Netherlands, 349–355.
- Monteny G.J., 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Rutzmoser K., 2009. Schriftliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft Grub, 11.5.2009.
- Steiner B., Kilian M., Haidn B. & Keck M., 2010. Emissionsrelevante optische Kenngrößen zum Vergleich von Laufflächen-Materialien in Rindviehställen. *Landtechnik* 05, 346–349.